



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ **Offenlegungsschrift**  
⑯ **DE 199 10 392 A 1**

⑯ Int. Cl. 7:  
**B 01 J 19/00**

⑯ Aktenzeichen: 199 10 392.5  
⑯ Anmeldetag: 5. 3. 1999  
⑯ Offenlegungstag: 7. 9. 2000

**DE 199 10 392 A 1**

⑯ Anmelder:

Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V.,  
07745 Jena, DE

⑯ Vertreter:

Pfeiffer, R., Dipl.-Phys. Fachphys. f. Schutzrechtsw.,  
Pat.-Anw., 07745 Jena

⑯ Erfinder:

Köhler, Johann Michael, Dr., 07751 Golmsdorf, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

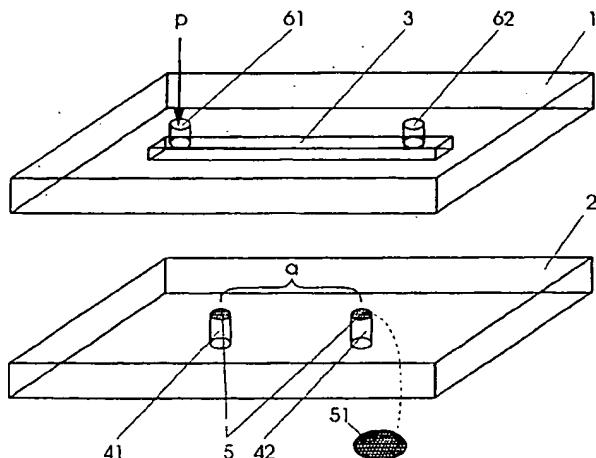
US 55 34 328 A  
US 53 04 487 A  
WO 98 00 231 A

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Mikrosäulenreaktor

⑯ Die Erfindung betrifft einen Mikrosäulenreaktor zur Durchführung von Reaktionen an festen Phasen und/oder mit biologischen Zellen. Die Aufgabe der Erfindung, für Synthese- und Trennprozesse an kleinen Probenvolumina, einen Mikrosäulenreaktor zu schaffen, mit Hilfe dessen, anstelle einer alternierenden Folge von Binde- und Elutionsprozessen an einer während einer Betriebsserie stationär eingebundenen Phase, z. B. nach Beladung, erfolgen kann, wird dadurch gelöst, daß der Mikrosäulenreaktor aus mindestens einem ersten und einem zweiten Substratplättchen (1; 2), die miteinander flächig verbunden sind, besteht, wobei in wenigstens eins der Substratplättchen (1; 2) wenigstens ein längserstreckter Kanal (3) eingebracht ist, der in einem vorgebbaren Abschnitt (a) seiner Länge von zwei Durchtrittsöffnungen (41, 42), die in das gegenüberliegende Substratplättchen eingebracht sind, erfaßt ist, wobei die Durchtrittsöffnungen (41, 42) vom Kanal (3) durch eine teildurchlässige siebartige Membran (5) getrennt sind, deren Durchlaßbereiche (51) so bemessen sind, daß sie in den Kanal (3) eingebrachte Mikroporen und/oder Zellen vorgebbar am Eintritt in die Durchtrittsöffnungen (41, 42) hindern, und daß der Kanal (3), außerhalb des durch die Durchtrittsöffnungen (41, 42) erfaßten Abschnitts (a), mit wenigstens zwei weiteren Öffnungen (61, 62) versehen ist, die ein Einbringen und/oder Verschieben der über dem Abschnitt (a) vorgesehenen Mikroporen ...



**DE 199 10 392 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Mikrosäulenreaktor zur Durchführung von Reaktionen an festen Phasen und/oder mit biologischen Zellen. Dabei kann der vorgeschlagene Mikrosäulenreaktor beispielsweise bei nachfolgenden Synthes- und Trennprozessen:

- Grignardreaktion und Herstellung anderer metallorganischer Verbindungen,
- Trocknen von Lösungsmitteln mit Hilfe metallischer oder oxidischer Trocknungsmittel,
- Ionenaustauschprozessen und
- der Extraktion von festen Phasen

vorteilhaft zur Anwendung gelangen. Insbesondere findet die Erfindung im Bereich von komplexen kombinatorisch-chemischen oder Screening-Operationen Anwendung oder um biologische Screening-Prozesse automatisiert durchführen zu können.

Probenpartikel ("Perlen", "Beads") werden seit Jahrzehnten für die Separation und Synthese im labortechnischen Bereich eingesetzt. Meistens handelt es sich dabei um Glas- oder Polymerkugelchen, welche Durchmesser von 0.01 mm bis 1 mm, typischerweise um die 0.1 mm, besitzen und trocken oder vorgequollen als loses Schüttgut in einen Behälter gefüllt und dann mit Flüssigkeit umspült werden, wobei zwischen der Festphasenoberfläche der Partikel und der sie umgebenden Flüssigkeit ein Adsorptions- oder Reaktionsprozeß abläuft. Verfahren der Säulenchromatographie (z. B. Gelfiltration), der Säulenextraktion, der Immundiagnostik, der Biomolekülreinigung (z. B. DNA-Reinigung) sowie der homogenen und heterogenen Synthese (von Oligonukleotiden, Peptiden oder kombinatorischen Substanzbibliotheken) nutzen diese Technik aus. Bei allen diesen Verfahren und Vorrichtungen ist eine feste Phase, an die Reaktionspartner angebunden sind, oder die als Reaktionsoberfläche dient, im Reaktionsgefäß während der Reaktion fest eingebunden. Die Prozesse werden durch eine Abfolge von einzelnen Binde- und Abspaltungsvorgängen geführt. Die Entfernung der stationär angeordneten festen Phase aus dem Reaktor ist während einer Betriebsserie derartiger Vorrichtungen nicht vorgesehen, nicht möglich oder sie ist zeitraubend und wenig praktikabel.

Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, für Synthesen und Trennprozesse an kleinen Probenvolumina, einen Mikrosäulenreaktor zu schaffen, mit Hilfe dessen, anstelle einer alternierenden Folge von Binde- und Elutionsprozessen an einer während einer Betriebsserie stationär eingebundenen Phase, ein Austausch der stationären Phase, z. B. nach Beladung, erfolgen kann, um etwa komplexe Stoffgemische oder auch Partikel und Zellen effizienter zu trennen und kombinatorische Synthesen leichter und schneller durchführen zu können.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind durch die nachgeordneten Ansprüche erfaßt.

Das Wesen der Erfindung besteht darin, daß ein Mikrosäulenreaktor zur Durchführung von Reaktionen an festen Phasen und/oder mit biologischen Zellen geschaffen ist, der aus mindestens einem ersten und einem zweiten Substratplättchen besteht, die miteinander flächig verbunden sind, wobei in wenigstens eins der Substratplättchen wenigstens ein längserstreckter Kanal eingebracht ist, der in einem vorgebaren Abschnitt seiner Länge von zwei Durchtrittsöffnungen, die in das gegenüberliegende Substratplättchen eingebracht sind, erfaßt ist, wobei die Durchtrittsöffnungen vom Kanal durch eine teildurchlässige siebartige Membran

getrennt sind, deren Durchlaßbereiche so bemessen sind, daß sie in den Kanal eingebrachte Mikroporen und/oder Zellen vorgebbar am Eintritt in die Durchtrittsöffnungen hindern, und daß der Kanal, außerhalb des durch die Durchtrittsöffnungen erfaßten Abschnitts, mit wenigstens zwei weiteren Öffnungen versehen ist, die ein Einbringen und/oder Verschieben der über dem Abschnitt vorgesehenen Mikroporen und/oder Zellen durch Anlegen eines fluidischen Drucks ermöglichen und wenigstens eine der Durchtrittsöffnungen und eine der Öffnungen verschließbar sind.

Die Erfindung soll nachstehend anhand schematischer Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines Mikrosäulenreaktors mit seinen funktionsbestimmenden Baugruppen in einer Explosionsdarstellung,

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Mikrosäulenreaktors mit seinen funktionsbestimmenden Baugruppen in einer Explosionsdarstellung,

Fig. 2a eine andere Art der Verbindung von Durchtrittsöffnungen mit zu- bzw. abführenden Kanälen,

Fig. 3 einen Längsteilschnitt durch eine Ausführungsform nach Fig. 1 oder Fig. 2,

Fig. 4 und 5 mögliche Anordnungsformen mehrerer Mikrosäulenreaktoren,

Fig. 6 eine beispielhafte Verschaltung mehrere Mikrosäulenreaktoren zur Synthese einer speziellen Substanzbibliothek in einem Blockschema und

Fig. 7a-d eine weitere Ausführungsform eines Mikrosäulenreaktors in verschiedenen Fertigungsschritten.

In Fig. 1 ist 1 eine erste Ausführungsform eines Mikrosäulenreaktors mit seinen funktionsbestimmenden Baugruppen in einer Explosionsdarstellung dargestellt. Nach Fig. 1 besteht der Mikrosäulenreaktor aus zwei Substratplättchen 1, 2, wobei im Beispiel in das erste Substratplättchen 1, hier bestehend aus Glas, mit den Abmessungen 15 mm · 8 mm · 1 mm, ein längserstreckter Kanal 3 eingebracht ist, dem eine Breite von 1 mm, eine Tiefe von 100 µm und eine Länge von 10 mm gegeben ist. Dieser Kanal ist durch zwei Öffnungen 61, 62, hier Bohrungen, mit zwei nicht dargestellten Fluidanschlüssen verbunden. Für das zweite Substratplättchen 2 ist im Beispiel ein Siliziumwafer mit den Abmessungen 15 mm · 8 mm · 0.5 mm gewählt, in welches zwei Durchtrittsöffnungen 41, 42 derart eingearbeitet sind, daß sie bei paßgenauer Positionierung zum Glasplättchen 1 einen Abschnitt 51 erfassen, der im Beispiel über den Endbereichen des Kanals 3 zu liegen kommt. Die Durchtrittsöffnungen 41, 42 sind mit einer teildurchlässigen siebartigen Membran, hier in Form einer Siliziumoxinitrid-porenmembran überspannt. Die Dicke der Membran beträgt im Beispiel 2 µm und die Durchlaßbereiche 51 der Membran weisen Poren mit Durchmessern von 5 µm auf. Je nach Einsatzfall und der zum Einsatz gelangenden Mikroporen 6 können die konkreten Größen der Durchlaßbereiche 51 variabel vorgebbar festgelegt werden. Die Porenmembran dient dem Zurückhalten der in den Kanal 3 einzubringenden Partikel oder Zellen 7. Ebenso kann im Rahmen der Erfindung, je nach Einsatz des Mikrosäulenreaktors, die Membran (5) durch eine nanoporöse Dünnschichtmembran gebildet sein, deren Porengrößen in einem Bereich zwischen 5...500 nm festgelegt sind.

Soll den Durchtrittsöffnungen 41, 42 eine Struktur gegeben werden, wie sie in Fig. 3 angedeutet ist, bei der die Durchtrittsöffnungen durch zwei an ihren schmalen Basisflächen aufeinanderstehende pyramidenstumpfförmige Kanalbereiche parallel zur Flächenormalen n des zweiten Substratplättchens 2 gebildet ist, setzt man für das Substratplättchen 2 einen Si(100)-Wafer ein, der beidseitig mit einer geeigneten Ätzmase (z. B. Si-Oxinitrid) versehen ist. Diese

Maske bildet an der Vorderseite ein Array von Mikrofenstern, deren Abmessungen die Porenweite festlegen. Typischerweise wird eine Porenweite von  $5 \mu\text{m}$  realisiert. Diese ist bequem mit herkömmlichen Mitteln der Fotolithografie und Ätztechnik herstellbar. Mittig zu dieser Porenstruktur werden von der Rückseite des Si-Wafers zwei Fenster so strukturiert, daß beim Ätzen von beiden Seiten zwei pyramidenförmige Kanäle entstehen, die an ihrer dem ersten Substratplättchen 1 zugewandten Oberfläche durch Siebböden verschlossen sind.

Sollen mit den Durchtrittsöffnungen 41, 42 gleichzeitig Kanalstrukturen zur Fluidkontakteierung der mobilen Phase innerhalb der Substratfläche des Substratplättchens 2 erzeugt werden, so daß die Anschlüsse 41, 42 bspw. seitlich an den Stirnseiten aus dem Mikrosäulenreaktor herausgeführt sind, ist für das Substratplättchen im Beispiel ein Si-Wafer (in 100-Orientierung für geneigte Kanalwände oder in 110-Orientierung für senkrechte Kanalwände) eingesetzt, der mit einer Siebporenmembranmaske 5 versehen ist, die im Bereich des weiter verlaufenden Kanals 411, 412 durch ein der Kanalweite entsprechendes Fenster, das bis zum Chiprand reicht, begleitet wird (vgl. Fig. 7a-d). Die Rückseite des Si-Wafers bleibt völlig von einer ätzresistenten Schutzschicht (z. B.  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) bedeckt. Zunächst wird der Si-Wafer mit einem isotrop wirkenden Ätzbad (z. B. auf HF-Basis) so geätzt, daß die Stege zwischen den Einzelporen der Siebstrukturmaske vollständig unterätzt werden. Anschließend wird mit einem anisotropen Ätzbad (z. B. auf KOH-Basis) weitergeätzt, um die geneigten bzw. senkrechten Kanalkanten zu erhalten. Die Fig. 7a-d zeigen das Ergebnis vorstehend beschriebenen Vorgehens anhand einer beispielhaften Struktur. Dabei ist aus Fig. 7a ein in das erste Substratplättchen 1 eingebrachter Kanal 3 ersichtlich. Fig. 7b zeigt die in das zweite Substratplättchen eingebrachte Struktur mit den zum Substratrand verlängert ausgebildeten Kanalabschnitten 411 und 421, wobei Fig. 7c die Verhältnisse nach Fig. 7b im seitlichen Schnitt darstellt und Fig. 7d verdeutlicht in transparenter Darstellung in Draufsicht die Orientierung der einzelnen genannten Teile zueinander, wenn das erste und zweite Substratplättchen miteinander verbunden sind.

Die zur Fig. 1 beschriebenen ersten und zweiten Substratplättchen (1, 2) werden nach Herstellung der beschriebenen Strukturen miteinander durch anodisches Bonden verbunden.

Die zuvor beschriebenen speziellen Ausführungsformen sind besonders vorteilhaft mit herkömmlichen Bearbeitungsschritten eingeführter Mikrostrukturierungstechniken herstellbar, beschränken die Erfindung jedoch nicht darauf. Ebenso können für das erste und/oder zweite Substratplättchen 1, 2 ein Glasplättchen und/oder ein Plättchen aus einem Kunststoff gewählt sein, wobei der Kanal 3 in das erste Substratplättchen 1 eingebracht ist und die dem ersten Substratplättchen 1 zugewandte Oberfläche des zweiten Substratplättchens 2 durchgängig mit einer Membran überzogen ist, in die zumindest im Bereich der Durchtrittsöffnungen 41, 42 eine mikrostrukturierte Perforation zur Bildung der Durchlaßbereiche 51 eingebracht ist. Insbesondere kann hier das zweite Substratplättchen 2 mit einer das Substratplättchen überspannenden perforierten Polymerfolie 50 versehen sein, wie es in Fig. 2 schematisch angedeutet ist. Auch eine solche Ausführung läßt andere Kanalführungen zu, wie es in Fig. 2a anhand einer beispielhaften Kanalführung 411, 421 im Substratplättchen 2 angedeutet ist.

In Fig. 3 ist ein Längsteilschnitt durch eine der bislang beschriebenen Ausführungsformen nach Fig. 1 oder Fig. 2 dargestellt. Dabei ist ersichtlich, wie der Kanal 3 im zusammengefügten Zustand der Substratplättchen 1, 2 mit der fe-

sten Phase, hier in Form von Mikroporen 7 verfüllt ist. Bei vorliegendem Vorschlag ist es nicht erforderlich, extreme Packungsdichten der stationären Phase 7 zu erreichen. Wichtig ist nur, daß die Abstände zwischen den Partikeln

- 5 der stationären Phase 7 so bemessen sind, daß während der Verweilzeit eines Moleküls im Reaktorraum, worunter hier der durch die Durchtrittsöffnungen 41, 42 erfaßte Abschnitt des Kanals 3 zu verstehen ist, ein genügend häufiger Kontakt mit der stationären Phase stattfindet. Das sollte bereits 10 bei Partikelgrößen im mittleren bis unteren Mikrometerbereich bei Verweilzeiten von weniger als einer Sekunde, z. T. im unteren Millisekundenbereich, gegeben sein. Die Festlegung der Partikelgrößen und/oder der zurückzuhalgenden oder durchzulassenden Zellen erfolgt in Abhängigkeit von 15 der vorgegebenen konkreten Aufgabenstellung und der daran anpassenden Porengröße der teildurchlässigen siebartigen Membran 5, die so festzulegen ist, daß ein Verstopfen der Poren ausgeschlossen ist. In Fig. 3 ist weiterhin schematisch angedeutet, daß die einzelnen Flusswege im 20 dargestellten einzelnen Mikrosäulenreaktor mit Hilfe von mindestens zwei Ventilen 91, 92 wahlweise verschließbar sind. Optional können auch die Öffnungen 42, 62 mit jeweils einem weiteren, in Fig. 3 nicht dargestellten Ventil verschließbar sein. Dadurch ist eine wahlfreie Adressierung 25 der beiden Zu- 61, 41 und der beiden Abläufe 42, 62 des Mikrosäulenreaktors ermöglicht. Damit liegt ein Mikrosäulenreaktor vor, bei dem nicht nur die mobile Phase, z. B. eine homogene Flüssigkeit, deren Flussweg in Fig. 3 durch Pfeile i und o angedeutet ist, sondern auch die stationäre Phase, 30 hier die Mikroporen 7, bewegt werden kann. Durch Verschließen jeweils eines Zu- oder Abflusses läßt sich nun wahlweise nur die mobile Phase oder aber auch die stationäre Phase 7 als Suspension transportieren. Dadurch wird ein rascher Austausch von Trennmaterial möglich und es 35 lassen sich durch Kombination mehrerer der beschriebenen Mikroreaktoren sogar Festphasentrenn- und Syntheselogiken aufbauen. Es können somit, aufgrund der mikrofluidischen Trennung von mobiler und stationärer Phase, auch spezifische Binde- und Abspaltprozesse durchgeführt werden, die weiter nachstehend beschrieben werden sollen.

- In den Fig. 4 und 5 sind mögliche Anordnungsformen mehrerer Mikrosäulenreaktoren schematisch angedeutet. Je nach Ausführung können dabei die Mikrosäulenreaktoren diskret, analog zu den Fig. 1 und 2, ausgeführt und miteinander in Verbindung gebracht sein, oder wie in den Fig. 4 und 5 dargestellt, können mehrere solcher Mikrosäulenreaktoren linear (Fig. 4) jeweils eines ersten und zweiten Substratplättchens sein, oder es können auch mehrere solcher Mikrosäulenreaktoren in unterschiedlichen Ebenen (Fig. 5) miteinander in Verbindung gebracht sein, wobei jeweils eine Ebene analog zu Fig. 4 ausgeführt sein kann. Je nach vorzugebenden Reaktionsablauf können die eigentlichen Reaktionsabschnitte, bestimmt durch die Länge des Abschnitts a, durch die der den Kanal 3 durch die Durchtrittsöffnungen 41, 42 erfaßt ist, zueinander in einem äquidistanten Abstand b oder in einem variabel festlegbaren Abstand c angeordnet sein. Ebenso ist es möglich, die Abstände der Durchtrittsöffnungen 41, 42 von Reaktor zu Reaktor in ihrer Länge unterschiedlich festzulegen, vgl. Fig. 4, Abstände a und al. Vorgenannte Möglichkeiten sind einzig durch die mit den Mikrosäulenreaktoren durchzuführende Reaktion bestimmt. Weitere, insbesondere ebenfalls in Mikrosystemtechnik ausgeführte Baugruppen, wie bspw. optische Detektoren, Analyseeinheiten, Kalorimeter, elektrochemische Detektoren etc., können in die Zusammenschaltung mehrerer Mikrosäulenreaktoren eingebunden sein, wie es in Fig. 5 durch eine derartige Baugruppe 8 lediglich schematisch angedeutet ist.

Der vorgeschlagene Mikrosäulenreaktor und sein mehrfa-

cher Einsatz durch Zusammenschaltung mehrere einzelner Mikrosäulenreaktoren eignet sich insbesondere für die Durchführung von automatisierten Prozessen der Wirkstoffentwicklung mittels beadgebundener Festphasensynthese. Mehrere solche Mikrosäulenreaktoren können auch untereinander und mittels vorzusehender Ventile zu Fluidlogiken zusammengeschaltet werden, um z. B. komplexere kombinatorisch-chemische oder Screening-Operationen mikroautomatisiert durchführen zu können. Speziell für biologische Screening-Prozesse können anstelle der in Fig. 3 angedeuteten Mikroperlen auch Zellen in das System eingebracht werden. Der Reaktor eignet sich auch für die mikromodulare Kombination mit Mikrodurchflußküvetten für mikrophotometrische, mikrofluorimetrische oder mikrochemoluminometrische Messungen.

Der vorgeschlagene Mikrosäulenreaktor lässt ein Nachschieben neuer Reaktionspartner (Mikroperlen und/oder Zellen) durch den Kanal 3 durch Anlegen eines fluidischen Drucks  $p$  zu, so daß eine weitere Variabilität der Gesamtvariabilität bei gleichzeitig geringst möglichem Totvolumen gegeben ist.

Die dargestellten vorteilhaften Einsatzmöglichkeiten sollen anhand nachfolgender Ausführungsbeispiele detaillierter angedeutet werden.

Zunächst soll die Synthese einer Bibliothek der 4 Tripeptide Gly-Val-Leu, Gly-Gly-Leu, Gly-Val-Ala und Gly-Gly-Ala in einem Mikroreaktorfluidsystem beschrieben werden.

Zum Einsatz kommt im Beispiel ein System mit 16 Mikroreaktorsäulen, die fluidisch, wie in Fig. 6 angedeutet, verschaltet sind. Zunächst werden die Mikroreaktoren A1 und B1, sowie C1 und D1 mit Mikroperlen in Form von Polystyrol-Synthesebeads beladen, an deren Oberfläche die Aminosäure Glycin über eine Esterbindung zu einer Benzylgruppe als Spacer angekoppelt ist. Die vier Mikrosäulenreaktoren werden nach Sperrung der Fluidkanäle für die stationären Phasen (beads) durch die mit Siebböden ausgestatteten Zu- und Abführungen der Kanäle für die mobilen Phasen paarweise (A/B) mit einer 1 : 1 gemischten warmen Lösung von Dicyclohexylcarbodiimid und Valin, bzw. (C/D) mit einer 1 : 1 gemischten warmen Lösung von Dicyclohexylcarbodiimid und Glycin bespült. Die Aminogruppen der zugeführten Aminosäuren sind dabei durch tertiar-Butyloxycarbonylgruppen geschützt. Nach dem ersten Spülsschritt werden alle stationären Phasen in die Modulreihe 2 durch jeweiliges Anlegen eines fluidischen Drucks weiterbefördert und dort durch die in Reihe geschalteten Kanäle für die mobilen Phasen gespült und durch Durchleiten von leicht wasserhaltiger Trifluoressigsäure entschützt. Anschließend werden die fluidischen Phasen in die Modulgruppe 3 befördert, wobei die stationäre Phase von B2 nach C3 und die von C2 nach B3 geführt wird. In der Modulreihe 3 vollzieht sich analog zur Modulreihe 1 die Umsetzung mit geschützten Aminosäuren, wobei jetzt anstelle von Valin Leucin und anstelle von Glycin Alanin zugeführt werden. Nach dieser Operation und einem ersten Spülsschritt werden die stationären Phasen in die Modulreihe 4 befördert und dort die Schutzgruppen abgespalten. Die vier Gruppen von Synthesebeads werden anschließend in separaten Ausgängen entnommen und zur Freisetzung der Tripeptide die Benzylesterbindungen gespalten.

In einem weiteren Anwendungsbeispiel soll die Herstellung von Ethylgrignard aus Ethylchlorid für Mikrofluidsynthesen beschrieben werden.

Als stationäre Phase wird zunächst eine Suspension von Magnesiumpulver in trocknem Ethylether in einen Mikrosäulenreaktor eingetragen. Nach Sperrung des Kanals für diese stationäre Phase wird über die Zu- und Abführung für die mobile Phase der Ether durch eine warme Lösung von

Ethylchlorid in Ether verdrängt. Am Ablauf der mobilen Phase wird der Ethylgrignard als Etherlösung entnommen.

Der Mikrosäulenreaktor kann wie eine Chip-Kartusche auch für die Bereitstellung von nahezu beliebigen Grignards und anderen metallorganischen Verbindungen für Mikrofluidsynthesen im Chipformat eingesetzt werden. Das System ist besonders vorteilhaft, da die Lösungen leicht wasser- und sauerstofffrei gehalten werden können (z. B. im Gegensatz zu Mikrotiterplatten und Nanotiterplatten) und aufgrund des geringen Reaktionsvolumens kann die freiwerdende Reaktionswärme leicht abgeführt werden, und es kann dadurch nicht zu einem gefährlichen Überhitzen des Reaktors kommen.

Entsprechend der eingangs geschilderten Anwendungsmöglichkeiten, lässt sich der vorgeschlagene Mikrosäulenreaktor in vielfältiger Weise vorteilhaft einsetzen.

Alle in der Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und der Zeichnung dargestellten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

#### Bezugszeichenliste

- 1 erstes Substratplättchen
- 2 zweites Substratplättchen
- 3 Kanal
- 41, 42 Durchtrittsöffnungen
- 411, 421 Kanalabschnitte im zweiten Substratplättchen
- 5 teildurchlässige siebartige Membran
- 50 Polymerfolie
- 51 Durchlaßbereiche (Poren)
- 61, 62 Öffnungen im ersten Substratplättchen
- 7 Mikroperlen und/oder Zellen
- 8 Baugruppen, wie wie bspw. optische Detektoren, Analyseeinheiten, Kalorimeter, elektrochemische Detektoren etc.
- 91, 92 Ventile
- a, a1 durch die Durchtrittsöffnungen erfaßter Abschnitt
- b äquidistante Abstände zwischen zusammengehörigen Durchtrittsöffnungen
- c unterschiedliche Abstände zwischen zusammengehörigen Durchtrittsöffnungen
- i Zufluß für die mobile Phase
- o Abfluß für die mobile Phase
- n Flächennormale
- p fluidischer Druck
- A1 bis D4 Mikrosäulenreaktoren

#### Patentansprüche

1. Mikrosäulenreaktor zur Durchführung von Reaktionen an festen Phasen und/oder mit biologischen Zellen, bestehend aus mindestens einem ersten und einem zweiten Substratplättchen (1; 2), die miteinander flächig verbunden sind, wobei in wenigstens eins der Substratplättchen (1; 2) wenigstens ein längserstreckter Kanal (3) eingebracht ist, der in einem vorgebbaren Abschnitt (a) seiner Länge von zwei Durchtrittsöffnungen (41, 42), die in das gegenüberliegende Substratplättchen eingebracht sind, erfaßt ist, wobei die Durchtrittsöffnungen (41, 42) vom Kanal (3) durch eine teildurchlässige siebartige Membran (5; 50) getrennt sind, deren Durchlaßbereiche (51) so bemessen sind, daß sie in den Kanal (3) eingebrachte Mikroperlen und/oder Zellen (7) vorgebar am Eintritt in die Durchtrittsöffnungen (41, 42) hindern, und daß der Kanal (3), außerhalb des durch die Durchtrittsöffnungen (41, 42) erfaßten Abschnitts (a), mit wenigstens zwei weiteren Öffnungen (61, 62) versehen ist, die ein Einbringen und/

oder Verschieben der über dem Abschnitt (a) vorgesehenen Mikroporen und/oder Zellen (7) durch Anlegen eines fluidischen Drucks (p) ermöglichen und Mittel (91, 92) zum zeitweisen Verschluß wenigstens einer der Durchtrittsöffnungen (41, 42) und einer der Öffnungen (61, 62) vorgesehen sind. 5

2. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für das erste Substratplättchen (1) ein Glas und für das zweite Substratplättchen (2) eine Siliziumwafer gewählt ist, wobei der Kanal (3) in das Glasplättchen (1) eingebracht ist und die dem Glasplättchen zugewandte Oberfläche des Siliziumwafers (2) durchgängig mit einer Beschichtung versehen ist, in die zumindest im Bereich der Durchtrittsöffnungen (41, 42) eine mikrostrukturierte Perforation zur Bildung der Durchlaßbereiche (51) eingebracht ist. 15

3. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für das erste und/oder zweite Substratplättchen (1, 2) ein Glasplättchen und/oder ein Plättchen aus einem Kunststoff gewählt ist, wobei der Kanal (3) in das erste Substratplättchen (1) eingebracht ist und die dem ersten Substratplättchen (1) zugewandte Oberfläche des zweiten Substratplättchens (2) durchgängig mit einer Membran überzogen ist, in die zumindest im Bereich der Durchtrittsöffnungen (41, 42) eine mikrostrukturierte Perforation zur Bildung der Durchlaßbereiche (51) eingebracht ist. 20

4. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran durch eine das zweite Substratplättchen (2) überspannende perforierte Polymerfolie (50) gebildet ist. 30

5. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite Substratplättchen (1, 2) miteinander durch anodisches Bonden verbunden sind. 35

6. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite Substratplättchen (1, 2) miteinander außerhalb des Bereichs des Kanals (3) durch Verklebung verbunden sind. 40

7. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite Substratplättchen (1, 2) miteinander durch äußere Spannmittel verbunden sind. 45

8. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchlaßöffnungen (41, 42) jeweils mit einem in der Ebene des zweiten Substratplättchens (2) liegenden und zu einem Substratrand geführten Kanal (411, 421) verbunden sind. 50

9. Mikrosäulenreaktor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kanal (3) von mehreren Durchtrittsöffnungen (41, 42) erfaßt ist, wobei jeweils zusammengehörige, einen Zu- (i) und Abfluß (o) bildende Durchtrittsöffnungen und jeweils einen Abschnitt (a) des Kanals (3) erfassende Durchtrittsöffnungen zueinander in einem äquidistanten (b) oder in variablen unterschiedlichen Abständen (c) angeordnet sind. 55

10. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß beim Vorschieben mehrerer zusammengehöriger Durchtrittsöffnungen (41, 42) auf einem gemeinsamen Substrat, oder bei fluidischer Verschaltung mehrerer diskreter Mikrosäulenreaktoren, der jeweilige Abstand (a; a1) der zusammengehörigen, einen Zu- und Abfluß bildenden Durchtrittsöffnungen, dem jeweiligen Reaktionsprozeß angepaßt, unterschiedlich lang ausgeführt ist. 60

11. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, daß mehrere, jeweils einen Kanal (3) und zwei Durchtrittsöffnungen (41, 42) aufweisende Substratplättchen linear und/oder in mehreren Ebenen als jeweils separate Bauelemente miteinander fluidisch verschaltet sind, wobei an vorgebbaren Verbindungsstellen weitere Baugruppen (8), wie bspw. optische Detektoren, Analyseeinheiten, Kalorimeter, elektrochemische Detektoren etc., vorgesehen sind. 5

12. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, jeweils einen Kanal (3) und zwei Durchtrittsöffnungen (41, 42) aufweisende Substratplättchen linear und/oder in mehreren Ebenen als jeweils separate Bauelemente miteinander fluidisch verschaltet sind, wobei an vorgebbaren Verbindungsstellen weitere mikrostrukturierte Baugruppen (8), wie bspw. optische Detektoren, Analyseeinheiten, Kalorimeter, elektrochemische Detektoren etc., in die Gesamtanordnung integriert eingebracht sind. 15

13. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchtrittsöffnungen (41, 42) parallel zur Flächennormalen (n) in Form von zwei an ihren schmalen Basisflächen aufeinanderstehenden pyramidenstumpfförmigen Kanalbereichen gebildet sind, wobei für das zweite Substratplättchen 2 ein beidseits mit einer Ätzmaske versehenes Si(100)-Wafer eingesetzt ist, deren erste Maskenfläche zumindest über den Durchtrittsöffnungen (41, 42) mit Durchlaßbereichen (51) versehen ist und die auf der gegenüberliegenden Waferfläche aufgebrachte zweite Maskenfläche mit Ausnehmungen versehen ist, deren Öffnungen dem kleinsten lichten Öffnungsquerschnitt der Durchtrittsöffnungen (41, 42) entspricht. 20

14. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, 2 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß für das zweite Substratplättchen ein Si-Wafer mit 100-, oder 110-Orientierung eingesetzt ist, der einerseits mit einer Siebporenmembran-maskestruktur 5 versehen ist, die im Bereich des weiter verlaufenden Kanals 411, 412 durch ein der Kanalweite entsprechendes Fenster, das bis zum Chiprand reicht, begleitet wird und die gegenüberliegende Seite des Si-Wafers vollständig von einer ätzresistenten Schutzschicht, z. B. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, bedeckt ist. 25

15. Mikrosäulenreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (5) durch eine nanoporöse Dünnenschichtmembran gebildet ist, deren Porengrößen in einem Bereich zwischen 5...500 nm festgelegt sind. 30

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

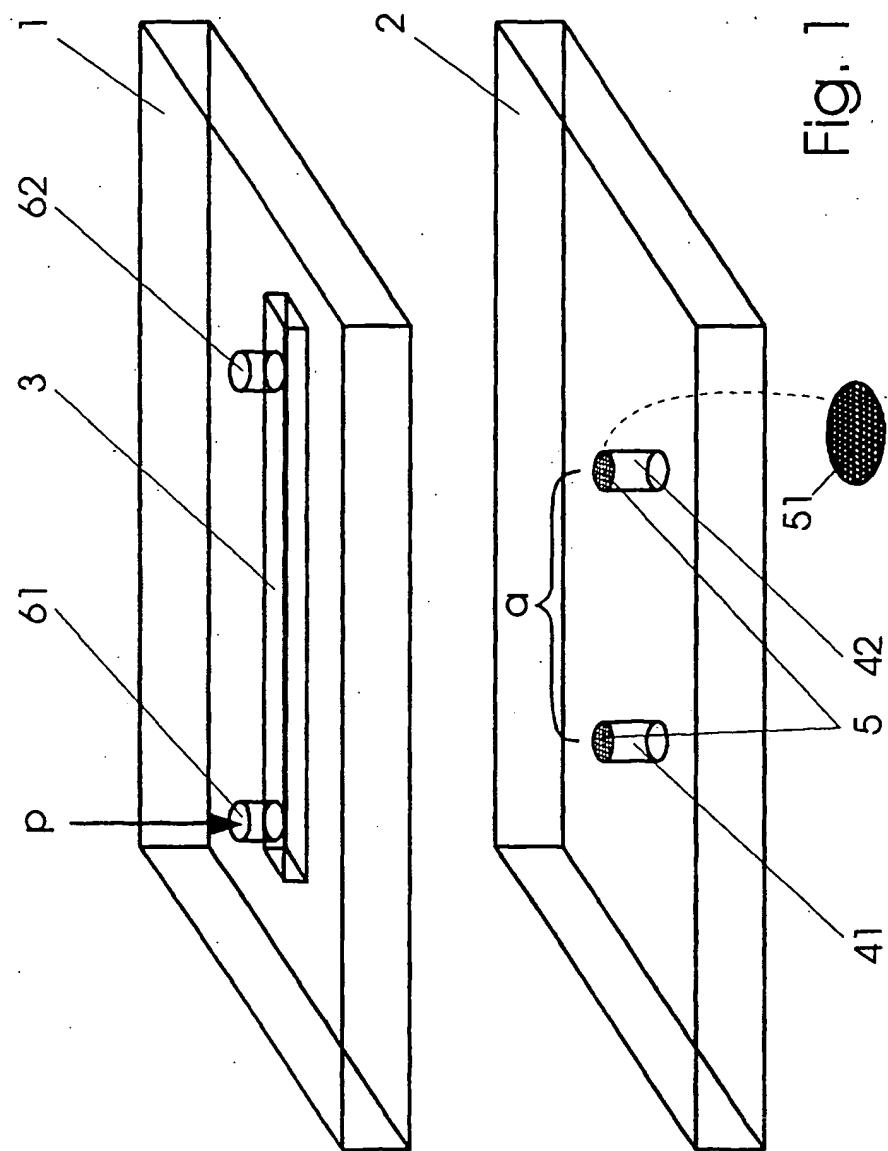
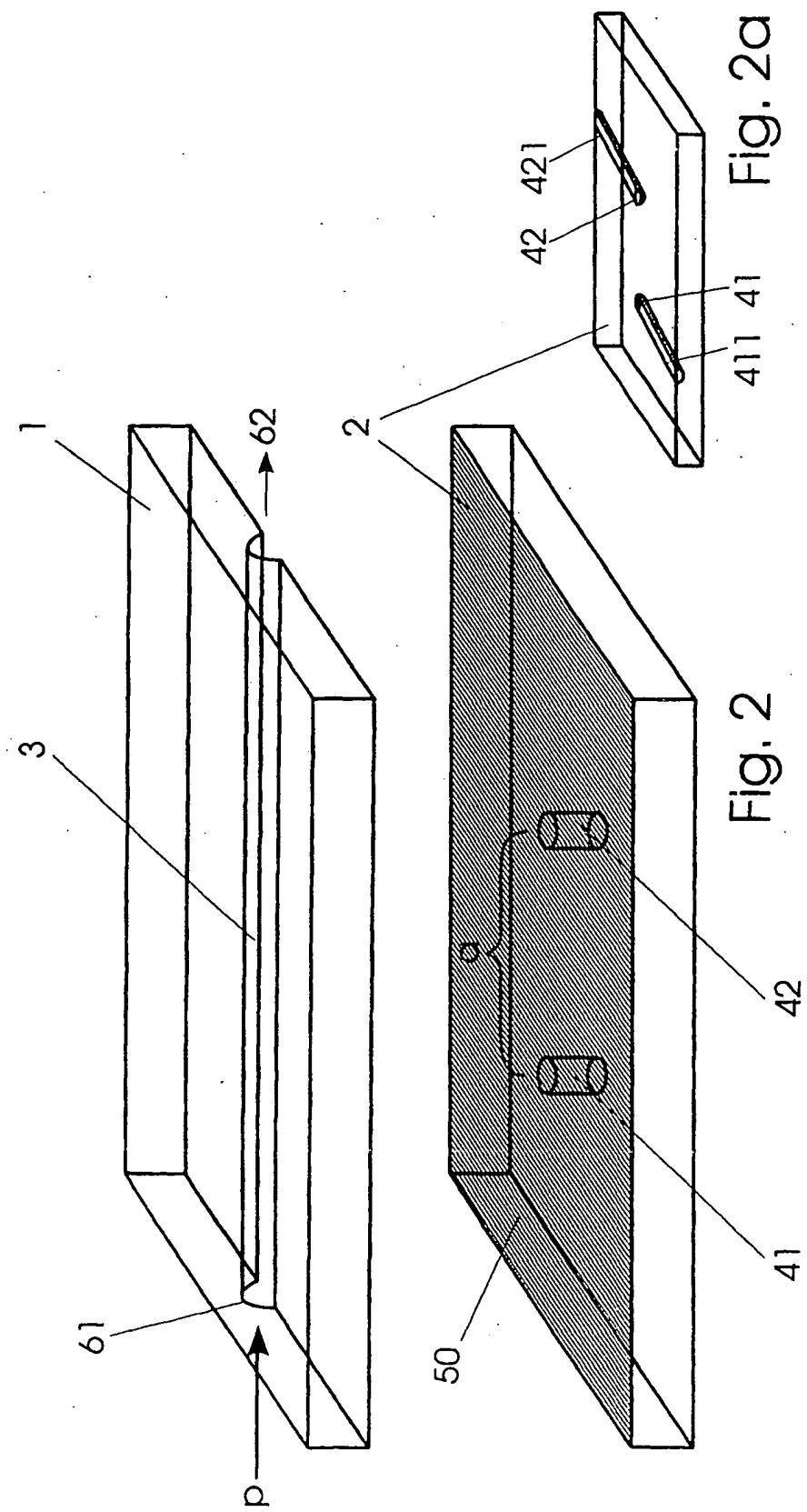


Fig. 1



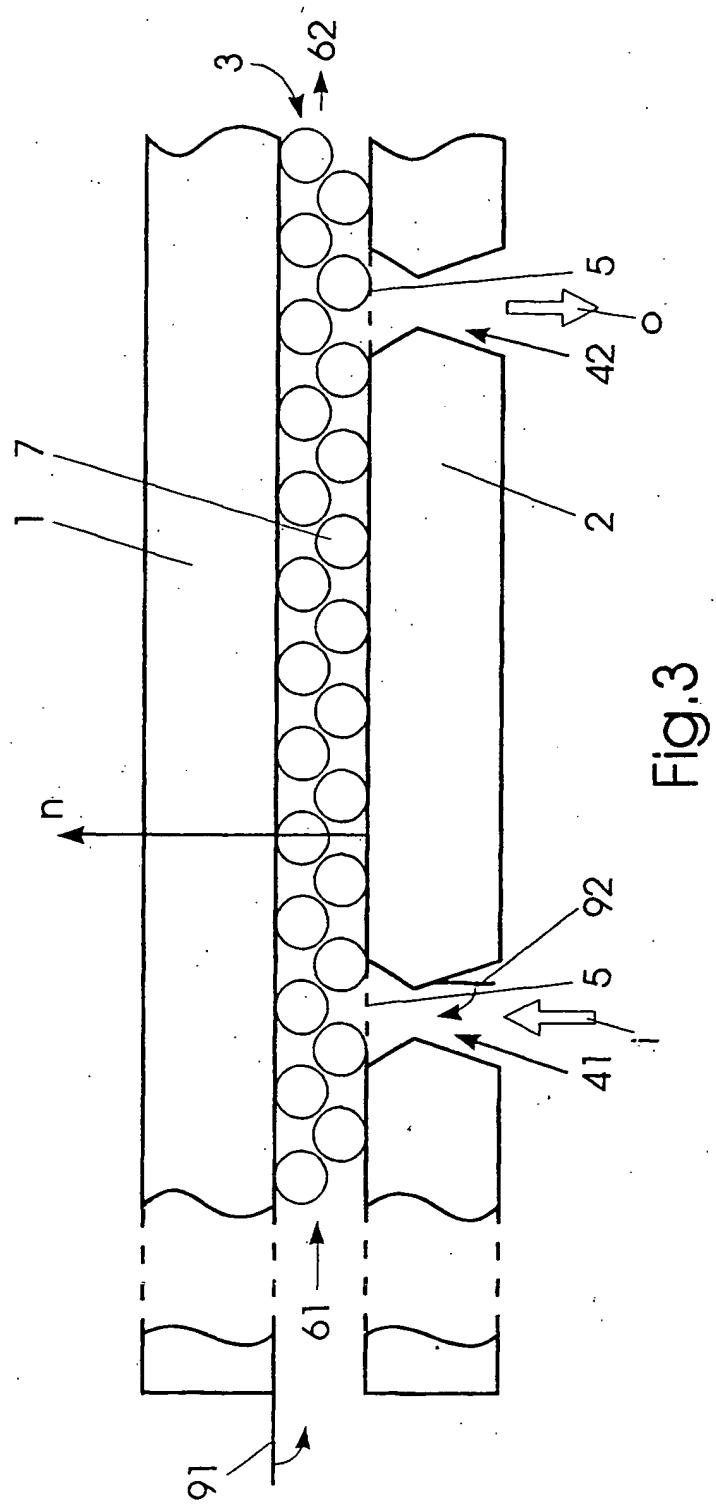


Fig.3

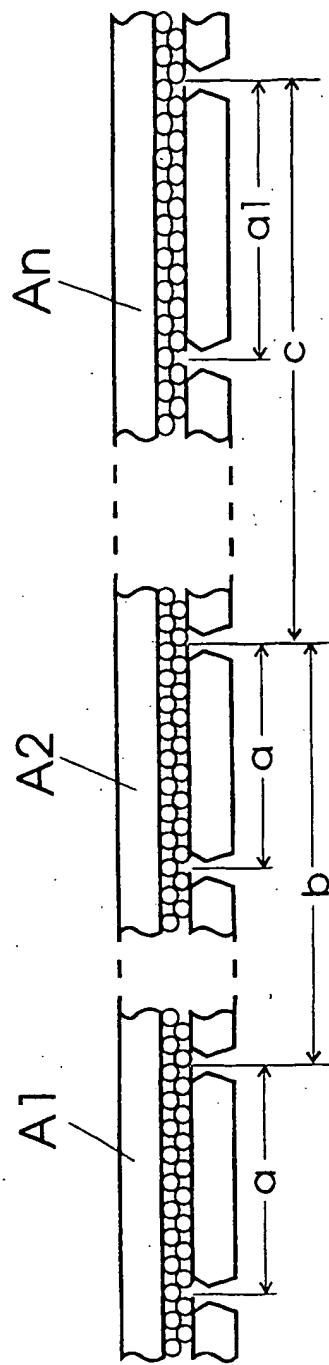


Fig. 4

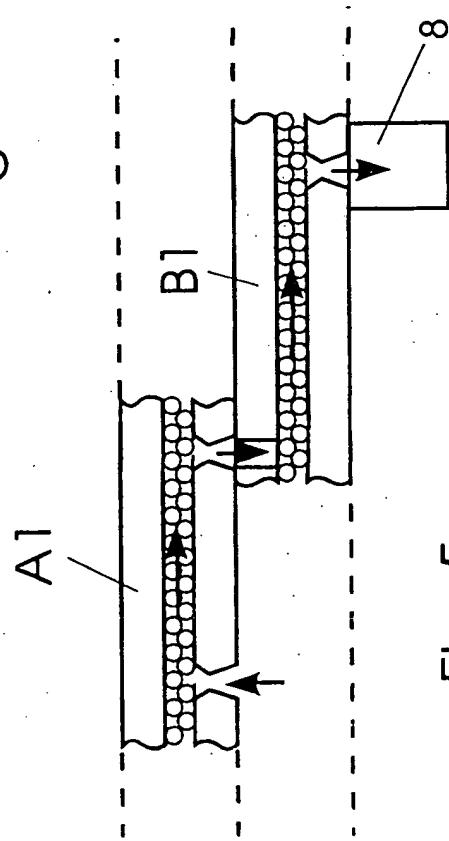
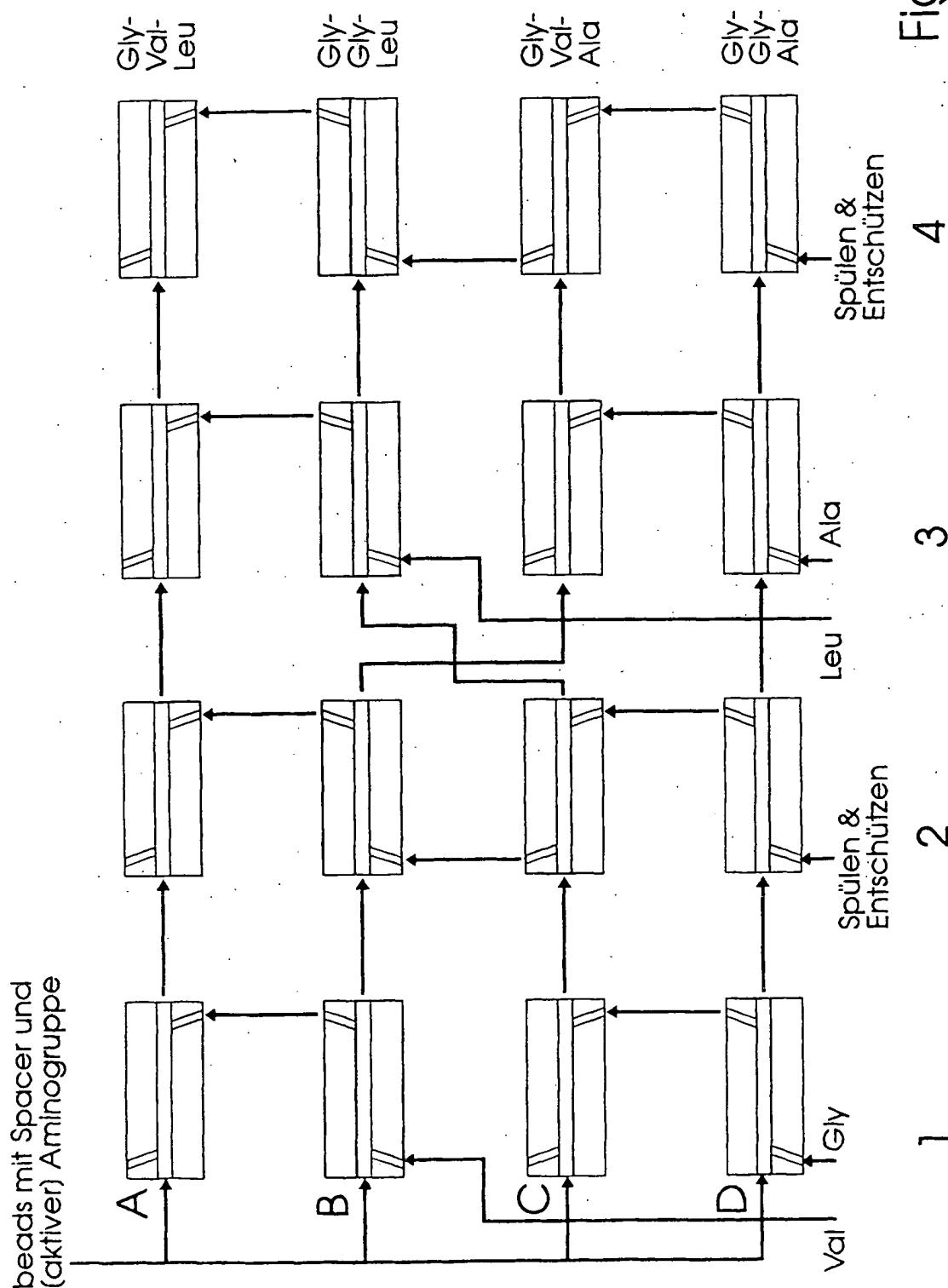


Fig. 5



1

2

3

4

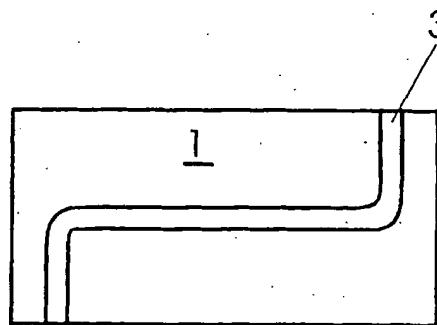


Fig. 7a

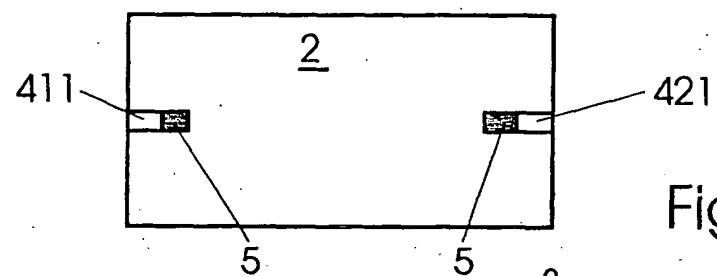


Fig. 7b

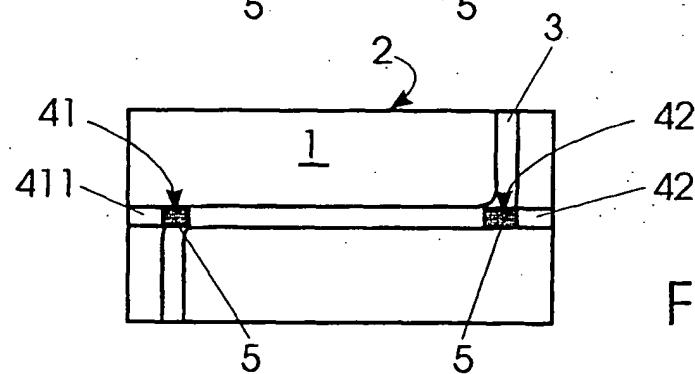


Fig. 7d

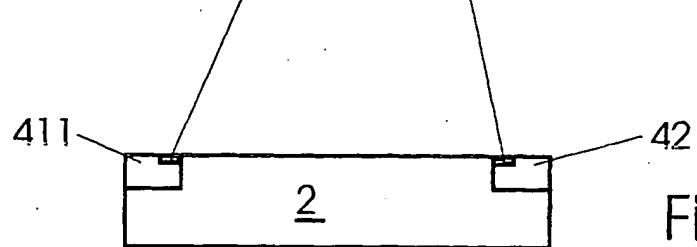


Fig. 7c

PCT

WELTOORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



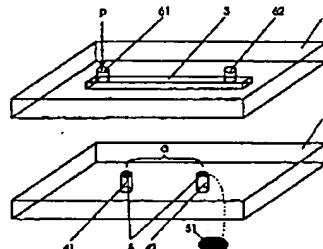
(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>B01J 19/00, B01L 3/00</b>		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/53308</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>14. September 2000 (14.09.00)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP00/01701</b>		(81) Bestimmungsstaaten: CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: <b>25. Februar 2000 (25.02.00)</b>		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(30) Prioritätsdaten: <b>199 10 392.5 5. März 1999 (05.03.99) DE</b>		(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): <b>INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE HOCHTECHNOLOGIE E.V. [DE/DE]; Winzerlaer Strasse 10, D-07745 Jena (DE).</b>	
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): <b>KÖHLER, Johann, Michael [DE/DE]; Untergasse 8, D-07751 Golmsdorf (DE).</b>		(74) Anwalt: <b>PFEIFFER, Rolf-Gerd; Patentanwaltsbüro Pfeiffer &amp; Partner, Winzerlaer Strasse 10, D-07745 Jena (DE).</b>	

(54) Title: **MICROCOLUMN REACTOR**

(54) Bezeichnung: **MIKROSÄULENREAKTOR**

(57) Abstract

The invention relates to a microcolumn reactor for carrying out reactions on solid phases and/or with biological cells. The aim of the invention is to provide a microcolumn reactor for processes of synthesis and separation on small sample volumina that replaces an alternating sequence of binding and elution processes on a phase that is stationary bound during a test series and makes it possible to exchange the stationary phase, for example once it has been loaded. To this end, the microcolumn reactor consists of at least one first and one second substrate wafer (1; 2) that are linked with one another across their surfaces. At least one of the substrate wafers (1; 2) is provided with an elongate channel (3) which comprises in a defined section (a) of its length two passage openings (41, 42) that are implemented in the opposite substrate wafer. Said openings (41, 42) are separated from the channel (3) by a partially permeable sieve-type membrane (5). The areas of acceptance (51) of said membrane have a diameter that is chosen in such a manner as to specifically prevent microbeads and/or cells introduced into the channel from entering the passage openings (41, 42). The channel (3) is provided with at least two further openings (61, 62) outside the section (a) that is comprised by the passage openings (41, 42). Said further openings permit the microbeads and/or cells that are provided above the section (a) to be introduced and/or displaced by applying a fluid pressure (p). Means are provided that temporarily close at least one of the passage openings (41, 42) and one of the openings (61, 62).



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Mikrosäulenreaktor zur Durchführung von Reaktionen an festen Phasen und/oder mit biologischen Zellen. Die Aufgabe der Erfindung, für Synthese- und Trennprozesse an kleinen Probenvolumina, einen Mikrosäulenreaktor zu schaffen, mit Hilfe dessen, anstelle einer alternierenden Folge von Binde- und Elutionsprozessen an einer während einer Betriebsreihe stationär eingebundenen Phase, ein Austausch der stationären Phase, z.B. nach Beladung, erfolgen kann, wird dadurch gelöst, dass der Mikrosäulenreaktor aus mindestens einem ersten und einem zweiten Substratplättchen (1; 2), die miteinander flächig verbunden sind, besteht, wobei in wenigstens einer der Substratplättchen (1; 2) wenigstens ein längserstreckter Kanal (3) eingebracht ist, der in einem vorgebbaren Abschnitt (a) seiner Länge von zwei Durchtrittsöffnungen (41, 42), die in das gegenüberliegende Substratplättchen eingebracht sind, erfass ist, wobei die Durchtrittsöffnungen (41, 42) vom Kanal (3) durch eine Teildurchlässige siebartige Membran (5) getrennt sind, deren Durchlassbereiche (51) so bemessen sind, dass sie in den Kanal (3) eingebrachte Mikroporen und/oder Zellen vorgebbar am Eintritt in die Durchtrittsöffnungen (41, 42) hindern, und dass der Kanal (3), ausserhalb des durch die Durchtrittsöffnungen (41, 42) erfassenden Abschnitts (a), mit wenigstens zwei weiteren Öffnungen (61, 62) versehen ist, die ein Einbringen und/oder Verschieben der über dem Abschnitt (a) vorgesehenen Mikroporen und/oder Zellen durch Anlegen eines fluidischen Drucks (p) ermöglichen und Mittel zum zeitweisen Verschluss wenigstens einer der Durchtrittsöffnungen (41, 42) und einer der Öffnungen (61, 62) vorgesehen sind.